

REKAYASA MESIN PENEKAN LENSA SEMI AUTOMATIC DENGAN PENGGERAK PNEUMATIK KONTROL ARDUINO PADA PROSES ASSEMBLY HEAD LAMP TIPE 045

Abdul Syukur A, Adhy Purnomo, BambangTjahjono, Nursa'adah, Ali Sai'in *)

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H., Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275
Telp. +6224 7473417,7499585,7499586, Fax. +6224 7472396
Email : abdlsyukura@gmail.com

Abstract

PT Indonesia Stanley Electric (ISE) is a manufacturing company that manufactures lamps for the application of two-wheeled vehicles and four wheels. Lights are one of the most important components of transportation that serve as lighting. One of the lamp products in PT. Indonesia Stanley Electric is HL 045. The background of this research is the process of lens suppressant on the line lamp assy Product HL 045 is still done manually by using both hands operator on the lens suppressor process. This leads to frequent bottlenecks that have an impact on the achievement of target production of HL 045 products, namely 540 part/day, but the actuation can only produce 493 parts/day. The purpose of this research is to increase the productivity of the 045 head lamp with innovations in the form of a semi-automatic lens pressing machine to perform push force or press on upper jig. The research methods used are RCA (root cause analyze) with stages: identification of problems, define problems, understand the problem, corrective action, and monitoring system. The lens suppressor test is conducted using 3 pressure parameters of 0.3, 0.4 and 0.5 MPa each as much as 30 attempts to obtain data in the form of lens suppression time. Based on the results of the testing designed semi-automatic lens suppressor machine obtained the best test data is testing at a pressure of 0.5 Mpa and resulted in the average time of lens suppression process of 3.63 sec. Based on the results of the test data, it can be concluded that the application of the design of a semi automatic lens suppressor proved to be able to increase production capacity by 8.72% (originally 493 PCs/day to 536 PCs/day) and lowered the process time of the product assembly in the HL 045 7.98% (originally 109.33 seconds to 100.6 seconds).

Keywords: *Press Lens, Head Lamp, Pneumatic, Arduino.*

Abstrak

PT Indonesia Stanley Electric (ISE) adalah perusahaan yang bergerak di dalam bidang manufaktur yang memproduksi lampu untuk aplikasi kendaraan roda dua maupun roda empat. Lampu merupakan salah satu komponen penting pada alat transportasi yang berfungsi sebagai penerangan. Salah satu produk lampu yang ada di PT. Indonesia Stanley Electric adalah HL 045. Latar belakang penelitian ini adalah proses penekan lensa pada line lamp assy produk HL 045 masih dilakukan secara manual dengan menggunakan kedua tangan operator pada proses penekan lensa. Hal ini menyebabkan tekanan pada proses penekan lensa tidak merata dan sering terjadi bottleneck (penguluran waktu) yang berdampak timbulnya produk Not Good dan tidak tercapainya target planning produksi produk HL 045 yaitu sebesar 540 part/hari tetapi actualnya hanya bisa memproduksi 493 part/hari. Tujuan penelitian ini adalah meningkatkan produktivitas pembuatan head lamp 045 dengan inovasi berupa rancang bangun mesin penekan lensa semi automatic untuk melakukan gaya dorong atau tekan pada upper jig. Metode penelitian yang digunakan adalah RCA (root cause analyze) dengan tahapan-tahapan: identifikasi masalah, menentukan masalah, pemaham masalah, tindakan perbaikan, dan pemantauan sistem. Pengujian mesin penekan lensa dilakukan menggunakan 3 parameter tekanan yaitu 0.3, 0.4 dan 0.5 MPa masing masing sebanyak 30 kali percobaan untuk memperoleh data berupa waktu proses penekanan lensa. Berdasarkan hasil pengujian rancang bangun mesin penekan lensa semi automatic diperoleh data pengujian terbaik yaitu pengujian pada tekanan 0.5 Mpa dan menghasilkan rata rata waktu proses penekanan lensa sebesar 3.63 detik. Berdasarkan data hasil pengujian tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa penerapan rancang bangun mesin

penekan lensa semi automatic terbukti mampu meningkatkan kapasitas produksi sebesar 8.72 % (semula 493 pcs/hari menjadi 536 pcs/hari) dan menurunkan waktu proses perakitan produk HL 045 sebesar 7.98 % (semula 109,33 detik menjadi 100,6 detik).

Kata kunci: *Penekan Lensa, Head Lamp, Pneumatik, Arduino.*

PENDAHULUAN

PT Indonesia Stanley Electric (ISE) adalah perusahaan yang bergerak di dalam bidang manufaktur yang memproduksi lampu untuk aplikasi kendaraan roda dua maupun roda empat. Bagian-bagian lampu yang diproduksi antara lain *Housing, Reflector, Extention, Lens*, dan *Inner Lens*. Tingginya permintaan customer baik dari kuantitas maupun kualitas mendorong PT. Indonesia Stanley Electric harus menerapkan suatu manajemen produksi yang memiliki standart yang jelas sehingga target produksi dapat tercapai. PT. Indonesia Stanley Electric memiliki beberapa departemen salah satunya adalah Departemen *Lamp Assy* yang di dalamnya terdapat proses perakitan part yang sudah diproduksi pada departemen sebelumnya.

Berdasarkan metodenya, proses perakitan suatu produk dibagi menjadi dua, yaitu perakitan manual dan perakitan otomatis. Perakitan manual adalah perakitan yang proses operasinya dikerjakan secara konvensional atau menggunakan tenaga manusia dengan peralatan yang sederhana tanpa alat – alat bantu yang spesifik atau khusus. Perakitan otomatis adalah perakitan yang dikerjakan dengan sistem otomatis seperti otomasi, elektronik, mekanik, gabungan mekanik dan elektronik (mekatronik), dan membutuhkan alat bantu yang lebih khusus. (Ilyandi, 2015).

Penerapan sistem perakitan otomasi di *line lamp assy* belum dilakukan secara menyeluruh. Sebagai contoh yaitu proses penekanan lensa pada *line lamp assy* produk *head lamptipe* 045 masih dilakukan secara manual. Hal ini menyebabkan operator mengalami kesulitan pada saat proses penekan lensa manual dan tekanan yang diberikan pada proses penekanan lensa tidak merata. Hal ini mengakibatkan timbulnya produk *Not good* dan sering terjadibottleneck (penguluran waktu) yang tidak sesuai dengan *standart* waktu yang telah ditentukan sehingga target *planning* produksi *head lamp* tipe 045 tidak tercapai

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat mesin penekan lensa *semi automatic* dengan penggerak pneumatik berbasis kontrol arduino untuk meningkatkan kapasitas produksi pada proses *assembly head lamp* tipe 045 di PT. Indonesia Stanley Electric dan mengetahui kinerja mesin penekan lensa dengan cara membandingkan perbedaan hasil produksi pada proses *assembly head lamptipe*045 sebelum dan setelah adanya rancang bangun mesin penekan lensa *semi automatic*.

TINJAUAN PUSTAKA

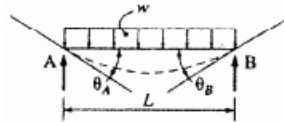
JIG and FIXTURE

Menurut Prassetyo (2016) *Jig* adalah peralatan khusus yang berfungsi untuk memegang, menahan dan menyokong benda kerja yang akan mengalami proses pemesinan dan *fixture* adalah peralatan yang berfungsi untuk menahan benda kerja dan mendukung pekerjaan sehingga operasi pemesinan dapat dilakukan.

Rancang bangun mesin penekan lensa *semi automatic* membutuhkan suatu alat bantu yaitu *upper jig* untuk menempatkan *lens* dan *lower jig* untuk menempatkan *reflectorhead lamp* 045 agar tidak bergeser ketika proses penekanan lensa berlangsung.

Lendutan (*Deflection*)

Menurut Djebli (2019), jika sebuah balok dikenai suatu gaya maka akan mengakibatkan bending sehingga balok tersebut akan mengalami lendutan (*defleksi*). Lendutan yang cukup besar menunjukkan struktur yang tidak kaku (*lack of structural rigidity*) meskipun cukup kuat. Lendutan yang terlalu besar harus dihindari untuk beberapa alasan yaitu lendutan yang besar bisa mengakibatkan retak (*cracking*) pada balok yang terkena beban. Ada 2 cara untuk mengevaluasi lendutan, yang pertama adalah dengan menghitung besar dan arah lendutan dan yang kedua adalah dengan menentukan lendutan yang diizinkan (*allowable deflection*). Persamaan yang digunakan yaitu :



Gambar 1. Pembebanan Merata (Djebli, 2019)

$$R = \frac{E.I}{M} \quad (\text{Djebli, 2019})$$

$$\Delta_{\max} = \frac{5wL^4}{384.E.I} \quad (\text{Djebli, 2019})$$

$$\Delta_{\text{all}} = \frac{\text{span}}{360} \quad (\text{Djebli, 2019})$$

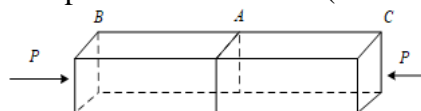
Dimana,

R	= Jari jari kelengkungan	[mm]
E	= Modulus elastisitas	[pa]
I	= Momen inersia	[mm^4]
M	= Momen bending maksimum	[Nm]
w	= Beban	[N]
Δ_{all}	= Lendutan yang diizinkan	[m]
Δ_{\max}	= Lendutan maksimum terjadi	[m]
L	= Panjang balok	[m]

Analisis lendutan sangat diperlukan pada suatu komponen mesin penekan lensa yaitu *base lower jig*, ketika proses penekan lensa berlangsung *base lower jig* menerima gaya tekan yang akan berdampak terjadinya defleksi pada komponen tersebut, maka dari itu perlu dilakukan analisis lendutan untuk mengetahui apakah komponen *base lower jig* aman digunakan pada mesin penekan lensa.

Pembebanan Gaya Aksial

Komponen utama mesin penekan lensa *semi automatic* salah satunya yaitu *lower jig*. Ketika proses penekan lensa berlangsung komponen ini sering menerima gaya tekan dari *upper jig*, maka dari itu perlu dilakukan analisis pembebanan gaya tekan pada *lower jig*. Gaya tekan (*compressive force*) adalah gaya yang menuju sumbu sentroid berimpit dengan sumbu longitudinal batang yang sama tetapi berlawanan arah. (Zainuri, 2008)



Gambar 2. Tekanan pada Batang Logam (Zainuri, 2008)

Menurut (Zainuri, 2008) tegangan dapat dihitung dengan persamaan :

$$s = \frac{P}{A} \quad (\text{Zainuri, 2008})$$

$$\sigma_{d,i} = \frac{\sigma_i}{\nu} \quad (\text{Zainuri, 2008})$$

Dimana,

- s = Tegangan rata rata [Pa, Mpa]
- P = Beban atau gaya aksial [N, Kg]
- A = Luas penampang batang [m^2]
- $\sigma_{d,i}$ = Tegangan izin [Pa, Mpa]
- σ_i = Tegangan maximum [Pa, Mpa]
- ν = Faktor keamanan

Buckling

Buckling merupakan suatu proses dimana suatu struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya, sedemikian rupa berubah bentuk dalam rangkamenemukan keseimbangan baru (Mthieu, 2016). Peristiwa *buckling* dapat terjadi pada batang plat tipis yang mendapatkan tekanan aksial. Batang plat tipis adalah batang yang mempunyai perbandingan panjang dan jari-jari girasi penampang yang besar.

Menurut (Khurmi, 2005) penggunaan dua formula antara rumus parabola Johnson dan rumus Euler melalui titik singgung. Rumus parabola Johnson digunakan saat $(L/k) < 140$ sedangkan rumus Euler digunakan saat $(L/k) > 140$. Berikut penggunaan dua formula dan penjelasan persamaan dari rasio kelangsingan atau *slenderness ratio* :

$$\text{Slenderness Ratio} = \frac{L}{R} \quad (\text{Khurmi, 2005})$$

$$R = \sqrt{\frac{I_{\min}}{Ak}} \quad (\text{Khurmi, 2005})$$

Persamaan Jhonson,

$$F_{cr} = A_k \cdot \sigma_y \left[1 - \frac{\sigma_y}{(4 \cdot C \cdot \pi^2 \cdot E)} \left(\frac{L}{k} \right)^2 \right] \quad (\text{Khurmi, 2005})$$

Dimana,

- F_{cr} = Gaya maksimal yang diizinkan (N)
- Ak = Luas penampang kolom (m^2)
- σ_y = Tegangan *yield* ($\frac{N}{m^2}$)
- C = Konstanta tipe ujung batang
- E = Modulus Elastisitas
- L = Panjang efektif kolom (m)
- R = Radius girasi terkecil (m)
- Ak = Luas penampang kolom (m^2)
- I_{\min} = Momen inersia terkecil (m^4)

Rangka mesin penekan lensa berpotensi besar terjadi buckling karena menopang seluruh berat komponen yang ada selain itu juga ketika proses penekan lensa berlangsung part stay pada lower jig juga berpotensi terjadi buckling karenan menerima gaya tekan piston secara terus menerus, maka dari itu perlu dilakukan analisis buckling untuk mengetahui mesin penekan lensa layak atau tidak untuk digunakan.

Berikut merupakan tabel hubungan kondisi ujung dengan perbandingan panjang *actual* dibanding panjang sebenarnya dan hubungan kondisi ujung dengan koefisien kondisi ujung untuk menentukan nilai C pada perhitungan tegangan izin maksimal:

Tabel 1

Hubungan Kondisi Ujung Dengan Perbandingan Panjang *Actual*

<i>S.No</i>	<i>End Conditions</i>	<i>Relation between equivalent length(L)and actual length(l)</i>
1.	<i>Both end hinged</i>	$L = l$
2.	<i>Both end fixed</i>	$L = \frac{l}{2}$
3.	<i>One end fixed and other end hinged</i>	$L = \frac{l}{\sqrt{2}}$
4.	<i>One end fixed and other end free</i>	$L = 2l$

(Sumber : Khurmi, 2005)

Tabel 2

Hubungan Kondisi Ujung Dengan Koefisien Kondisi Ujung Untuk Menentukan Nilai C

<i>S.No</i>	<i>End Conditions</i>	<i>End fixity coefficient (C)</i>
1.	<i>Both end hinged</i>	1
2.	<i>Both end fixed</i>	4
3.	<i>One end fixed and other end hinged</i>	2
4.	<i>One end fixed and other end free</i>	0.25

(Sumber : Khurmi, 2005)

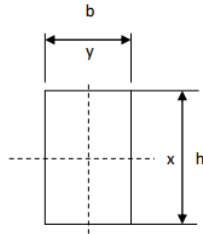
Tabel 3

Values of Factor of Safety

<i>Material</i>	<i>Study load</i>	<i>Live load</i>	<i>Shock load</i>
<i>Cast iron</i>	5 to 6	8 to 12	16 to 20
<i>Wrought iron</i>	4	7	10 to 15
<i>Steel</i>	4	8	12 to 16
<i>Sift material and alloys</i>	6	9	15
<i>Leather</i>	9	12	15
<i>Timber</i>	7	10 to 15	20

Momen Inersia

Menurut Zainuri (2008) momen inersia adalah luasan dikalikan kuadrat jarak yang selalu bernilai positif. Besaran momen inersia diukur dari kemampuan suatu penampang luasan tahanan tekuk (*buckling*) atau lentur (*bending*), jika dua buah balok terbuat dari bahan yang sama tetapi mempunyai luas penampang yang berbeda maka balok yang memiliki luas penampang lebih besar akan mempunyai nilai momen inersia lebih besar. Berikut persamaan yang digunakan :



Gambar 3. Penampang Persegi Panjang

$$I_{xx} = \frac{bh^3}{12} \quad (\text{Zaenuri, 2008})$$

$$I_{yy} = \frac{hb^3}{12} \quad (\text{Zaenuri, 2008})$$

Dimana,

I_{xx} = Momen inersia sumbu x [mm^4]

I_{yy} = Momen inersia sumbu y [mm^4]

h = Tinggi Penampang [mm]

b = Lebar Penampang [mm]

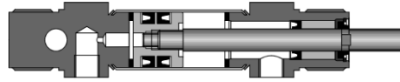
Sistem Pemindah Pneumatik Sederhana

Sistem pemindah daya pneumatik atau *pneumatic* merupakan suatu sistem yang memanfaatkan fluida angin pada sebuah mekanisme yang berfungsi untuk menggerakkan aktuator-aktuator pneumatik dengan cara memindahkan tenaga (*power*) dari penggerak (sistem pneumatik) agar sampai ke beban yang digerakkan. (Dindorf, 2017)

Hal ini sesuai dengan sistem kerja pada perancangan mesin penekan lensa yang dipadukan dengan menambahkan mekanisme *electro pneumatic* yaitu saat aliran udara bertekanan yang dihasilkan dari kompresor ditampung pada tanki udara, kemudian *output* aliran tekanan udara dari tanki udara diatur sebesar 0,5 Mpa oleh penyaring atau pengatur tekanan (*regulator*) menuju ke katup (*solenoid valve*) dengan *push button* sebagai tombol tekan yang terintegrasi pada kontrol mikrokontroler arduino melalui *relay* untuk menghantarkan arus listrik, sehingga pada saat *push button* ditekan maka *solenoid valve* akan terbuka dan mengalirkan tekanan udara menuju ke silinder pneumatik dengan gerakan *linier* sehingga piston akan bergerak ke bawah melakukan proses penekan lensa

Silinder Pneumatik Kerja Ganda

Silinder kerja ganda bekerja dengan memberikan udara bertekanan pada satu sisi permukaan piston (arah maju), sedangkan sisi yang lain (arah mundur) terbuka ke atmosfer, maka gaya diberikan pada sisi permukaan piston tersebut sehingga batang piston akan terdorong keluar sampai mencapai posisi maksimum dan berhenti. (Croser, 2002). Keuntungannya adalah bahwa silinder ini dapat memberikan tenaga kepada dua belah sisinya. Silinder kerja ganda terlihat pada gambar 4 dibawah ini :



Gambar 4. Silinder Kerja Ganda (Croser, 2002)

Silinder pneumatik pada perancangan mesin penekan lensa *semi-automatic* yaitu menggunakan jenis silinder kerja ganda (*double acting*) dikarenakan mekanisme kerjanya dapat dibebani pada kedua arah gerakan batang pistonnyanya sehingga pemasangannya lebih fleksibel dan gaya yang diberikan pada batang piston gerakan keluar akan lebih besar daripada gerakan masuk. Selain itu hal ini dapat memudahkan kinerja silinder saat langkah A^+ B^- maupun saat langkah A^- B^+ .

Menghitung gaya piston yang dihasilkan oleh silinder pneumatik dirumuskan sebagai berikut (Gupta, 2013) :

$$\text{Langkah maju } F = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot P \mu \right) \quad (\text{Gupta, 2013})$$

$$\text{Langkah mundur } F = (D^2 - d^2) \left(\frac{\pi}{4} \cdot P \mu \right) (\text{Gupta, 2013})$$

Dimana,

F	= Gaya Piston	[N]
f	= Gaya Pegas	[N]
D	= Diameter Piston	[m]
d	= Diameter Batang Piston	[m]
A	= Luas Penampang Piston	[m ²]
P	= Tekanan Kerja	[Pa]
μ	= Koefisien Gesek	

Solenoid (Katub kontrol)

Menurut Darto (2015) *Solenoid* adalah untuk mengatur arah udara kempa yang akan bekerja menggerakkan akuator. Katub kontrol terdiri dari beberapa jenis yaitu :

1. *2/2-way Solenoid Valve*

2/2-way solenoid valve mempunyai 2 lubang aliran udara dan dua perubahan posisi kerja.

2. *5/2-way Solenoid Valve*

5/2-way solenoid valve mempunyai 5 lubang aliran udara dan 2 perubahan posisi kerja.

Pada perancangan mesin penekan lensa *semi automatic* menggunakan *solenoid valve 2/2 way* dan *5/2 way*. *Solenoid valve 2/2* berfungsi untuk mengaktifkan *vacuum ejector* pada saat proses penekan lensa dan *solenoid valve 5/2* berfungsi untuk mengatur dan mambagi udara yang masuk pada silinder pneumatik.

Pressure Regulating Valve

Pressure Regulating Valve atau biasa disingkat menjadi PRV merupakan sebuah komponen sistem hidrolis maupun pneumatik yang berfungsi untuk mengatur besar tekanan fluida dari sistem sumber tekanan tinggi (seperti pompa, kompresor, atau tangki reservoir) ke sistem pengguna bertekanan rendah. (Darto, 2015)

Pada mesin Penekan Lensa, prinsip pengoperasian *pressure regulating valve* adalah dengan memberikan tekanan udara masukan dari kompresor sesuai kebutuhan yaitu sebesar 0,5 MPa atau 5 bar menuju ke *solenoid valve* untuk dapat menggerakkan silinder pneumatik sehingga dapat bergerak maju dan mundur.

Vacuum Ejector

Menurut Syahril (2018) *Vacuum ejector* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah daya tiup menjadi daya hisap untuk menciptakan ruang hampa (*vacuum*), sehingga memungkinkan sistem bisa menarik suatu barang yang diinginkan.



Gambar 5. *Vacuum Ejector*(Syahril, 2018)

Pada perancangan mesin penekan lensa *semi automatic*, *vacuum ejector* berfungsi untuk mengubah tekanan positif menjadi tekanan negatif sehingga menciptakan ruang hampa yang berfungsi untuk mencekam lensa agar tidak terjatuh pada saat proses penekan lensa berlangsung. Menurut (Jaiswal, 2017) kekuatan dari *vacuum clamping* terletak pada tekanan yang diberikan oleh *compressor* dan luasan area cekam yang digunakan, dimana :

$$F_s = A \cdot P$$

Dimana,

F_s	= Gaya Cekam	[N]
A	= Luas area pengecaman	[m ²]
P	= Tekanan Kerja	[Pa]

Arduino

Arduino Nano adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama, yaitu sebuah *chip* mikrokontroler dibekali dengan prosesor ATmega328P dengan bentuk SMD dan memiliki 14 Pin Digital I/O, 8 Pin Analog Input (lebih banyak dari Uno), dan menggunakan FTDI untuk pemrograman lewat Mikro USB (Junaidi, 2018). Arduino nano merupakan mikrokontroler yang dipakai untuk sistem *semi automatic* pada rekayasa mesin penekan lensa.



Gambar 6. Arduino (Junaidi, 2018)

Solidwork

Software solidworks digunakan dalam proses perancangan mesin penekan lensa *semi automatic* untuk produk *head lamp 045* guna mempermudah dalam membuat bentuk rancangan 3 dimensi sehingga akan lebih mudah dipahami dan dianalisis. Software solidworks merupakan software CAD (*Computer Aided Design*) yang digunakan untuk merancang rancangan mekanik sebagai aplikasi otomasi dengan menyediakan fitur 3D *simulation* dan 2D *drawing* yang mempermudah designer untuk menggambarkan ide dan eksperimen, serta gambar detail (Dassault systems, 2015).

Solidwork *Motion Simulation* digunakan sebagai dasar simulasi gerakan kerja dari proses penekan lensa *semi automatic*. Selain itu juga penerapan simulasi solidwork pada proses perancangan mesin penekan lensa *semi automatic* untuk produk *head lamp 045* yaitu diperolehnya kekuatan statis dari beban yang diberikan pada *lower jig*.

Arduino IDE

Arduino IDE adalah perangkat lunak yang sangat canggih dan dapat diprogram dengan menggunakan Bahasa pemrograman C (Barret, 2011). Arduino Nano yang digunakan pada sistem otomatisasi mesin penekan lensa *semi automatic* diprogram dengan perangkat lunak Arduino IDE. Aplikasi Arduino IDE terdapat *bootloader* yang memungkinkan untuk mengunggah kode baru tanpa menggunakan *Programmer Hardware Eksternal*. Arduino IDE terdiri dari :

1. Editor Program

Sebuah window yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *processing*.

2. Compiler

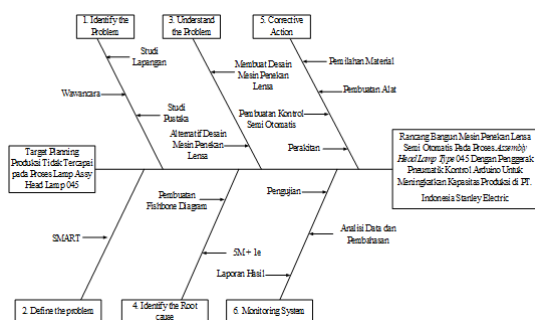
Sebuah modul yang mengubah kode program (Bahasa *Processing*) menjadi kode biner. Compiler berfungsi untuk menyusun bahasa C Arduino dan mengupload program hasil susunan (*hex file*) ke modul Arduino.

3. Uploader

Sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam memori di dalam *board* Arduino.

METODOLOGI PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian berisi tahapan-tahapan yang harus dilakukan secara terstruktur agar proses berjalan dengan baik dari penemuan permasalahan hingga solusi pemecahan masalah. Metode penelitian adalah proses penelitian atau tahapan sistematis yang disusun menggunakan *fishbone diagram*. Langkah penelitian dimulai dari studi lapangan berupa kegiatan kuliah magang industri yang menghasilkan penemuan permasalahan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut hingga menganalisis untuk menentukan solusi perbaikan secara akademis dan diimplementasikan. Metodologi penelitian menggunakan *fishbone diagram* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 7. Fishbone Diagram

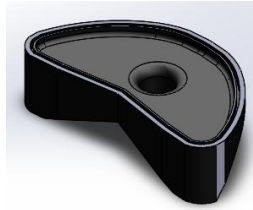
Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah menyajikan data yang berasal dari hasil identifikasi masalah yang telah dilakukan pada proses produksi perakitan *head lamp* tipe 045 yang belum dapat mencapai target perencanaan produksi yang telah direncanakan.

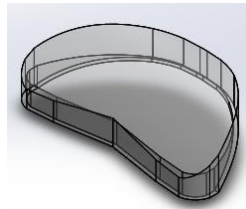
A. Produk Lampu HL Tipe 045

Produk HL tipe 045 merupakan produk lampu yang diproduksi oleh PT. Indonesia Stanley Electric yang divendor oleh PT. Yamaha Indonesia. Produk HL tipe 045 terdiri dari beberapa komponen yaitu *part of lens* dan *part of reflector*. Lens produk HL tipe 045 dalam

pembuatannya menggunakan material *polycarbonate* dan *part of reflector head lamp* tipe 045 menggunakan material plastik jenis *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*.



Gambar 8. *Part of reflector*



Gambar 9. *Part of lens*

Menentukan Masalah

Data yang disajikan pada sub bab ini adalah data temuan temuan yang digunakan untuk menentukan suatu permasalahan yang ada dengan menggunakan cara SMART. Berikut merupakan data temuan temuan dengan cara *specific, measurable, action oriented, realistic* dan *time constrained* (SMART) yang akan dijelaskan pada tabel 7 sebagai berikut.

Tabel 7

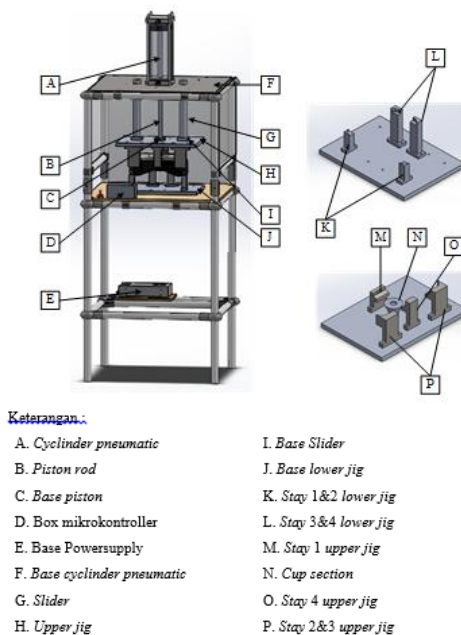
Data SMART

No	Langkah	Keterangan
1	<i>Specific</i>	Permasalahan yang ditemukan berupa proses penekanan lensa yang masih manual pada <i>line lamp assy</i> produk <i>head lamp</i> tipe 045.
2	<i>Measurable</i>	Proses penekanan lensa yang masih manual menyebabkan terjadinya <i>bottleneck</i> (penguluran waktu) dan meningkatnya <i>cycle time</i> .
3	<i>Action oriented</i>	Perlu adanya <i>improvement</i> pada proses penekanan lensa yang masih manual.
4	<i>Realistic</i>	Pihak PT. Indonesia Stanley Electric mengalami kerugian secara finansial akibat target produksi tidak tercapai.
5	<i>Time constrained</i>	Lamanya waktu perencanaan proses pembuatan mesin penekan lensa 40 hari

Pemahaman Masalah

Data yang disajikan pada pemahaman masalah adalah data temuan temuan penyebab munculnya permasalahan yang ada yaitu tidak tercapainya target perencanaan produksi. Temuan temuan penyebab tidak tercapainya target produksi *head lamp* tipe 045 digali menurut sumber-sumber yang potensial menimbulkan permasalahan mencakup *man, material, machine, money, metode, dan environment* yang akan dijelaskan pada tabel 8 analisis kondisi yang ada sebagai berikut.

Desain Alat penekan Lensa



Gambar 10. Alat penekan lensa

Pemantauan Sistem

Data yang disajikan pada pemantauan sistem ini adalah data pengujian mesin penekan lensa *semi automatic* yang telah selesai dibuat. Pengujian dilakukan dengan 3 variasi tekanan yaitu 0,3 Mpa, 0,4 Mpa dan 0,5 Mpa untuk mengetahui *cycle time* proses penekan lensa tercepat dan kualitas pengunci pada *head lamp* tipe 045. Terdapat 30 kali percobaan dalam setiap variasi tekanan. Hasil pengujian dinyatakan OK jika memenuhi standar pengujian visual yaitu kualitas penguncian pada *head lamp* bisa maksimal (semua bagian mengunci dengan sempurna). Hasil pengujian dinyatakan NG jika tidak memenuhi standar pengujian visual yaitu kualitas penguncian pada *head lamp* tipe 045 tidak maksimal (masih terdapat beberapa bagian yang tidak mengunci dengan sempurna).

Tabel 8

Pengujian Tekanan 0,3 Mpa

No Pengujian	Waktu	Hasil
1	5,16	NG (<i>Not Good</i>)
2	5,01	OK
3	5,06	OK
4	5,04	OK
5	5,03	OK
6	4,92	OK
7	4,93	OK
8	4,98	OK
9	5,18	NG (<i>Not Good</i>)
10	5,17	NG (<i>Not Good</i>)
11	5,04	OK
12	5,02	OK
13	5,08	OK

No Pengujian	Waktu	Hasil
14	4,98	OK
15	5,02	OK
16	5,06	OK
17	5,02	OK
18	5,04	OK
19	5,04	OK
20	5,06	OK
21	5,18	NG (<i>Not Good</i>)
22	4,96	OK
23	4,98	OK
24	5,02	OK
25	5,06	OK
26	5,02	OK
27	5,02	OK
28	5,04	OK
29	5,00	OK
30	5,04	OK
Rata – Rata	5.03	

Tabel 9
Pengujian Tekanan 0,4 Mpa

No Pengujian	Waktu	Hasil
1	3,94	OK
2	3,98	OK
3	3,91	OK
4	4,01	NG
5	3,94	OK
6	3,94	OK
7	3,95	OK
8	3,92	OK
9	3,94	OK
10	4,00	NG (<i>Not Good</i>)
11	3,96	OK
12	3,94	OK
13	3,96	OK
14	3,96	OK
15	3,98	OK
16	3,94	OK
17	3,94	OK
18	3,95	OK
19	3,96	OK
20	3,96	OK
21	3,95	OK
22	3,98	OK
23	3,96	OK
24	3,94	OK
25	3,96	OK

No Pengujian	Waktu	Hasil
26	3,94	OK
27	3,98	OK
28	3,98	OK
29	3,95	OK
30	4,00	NG (<i>Not Good</i>)
Rata – Rata	3.95	

Tabel 10
Pengujian Tekanan 0,5 Mpa

No Pengujian	Waktu	Hasil
1	3,65	OK
2	3,64	OK
3	3,61	OK
4	3,65	OK
5	3,65	OK
6	3,64	OK
7	3,68	OK
8	3,62	OK
9	3,64	OK
10	3,61	OK
11	3,61	OK
12	3,64	OK
13	3,64	OK
14	3,61	OK
15	3,65	OK
16	3,64	OK
17	3,65	OK
18	3,61	OK
19	3,65	OK
20	3,66	OK
21	3,61	OK
22	3,61	OK
23	3,64	OK
24	3,60	OK
25	3,66	OK
26	3,66	OK
27	3,58	OK
28	3,67	OK
29	3,62	OK
30	3,62	OK
Rata – Rata	3,63	

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Kesetimbangan

Penentuan material rangka mesin pada perancangan mesin penekan lensa *semi automatic* diperlukan perhitungan *buckling* untuk mengetahui batas bebas gaya yang diizinkan pada

rangka tersebut. Sebelum perhitungan *buckling*, langkah awal yaitu menghitung kesetimbangan gaya yang terjadi untuk mengetahui penyebaran momen gaya pada setiap batang rangka.

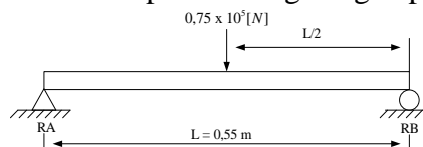
Besarnya gaya yang terjadi pada mesin penekan lensa ketika proses penekanan lensa dapat dengan tekanan yang diberikan sebesar 0,5 Mpa dan Luas permukaan sebesar 0,3025 [m²] dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$F = P \times A$$

$$F = 5 \times 10^5 \text{ [Pa]} \times 0,3025 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F = 1,5 \times 10^5 \text{ [N]}$$

pusat gaya yang terjadi berada di titik tengah mesin penekan lensa, maka gaya yang terjadi pada tiap rangka mesin penekan lensa memiliki nilai yang sama. Besarnya gaya yang terjadi pada tiap rangka mesin penekan lensa dapat dihitung dengan persamaan berikut:



Gambar 16. Pembebanan pada Mesin Penekan Lensa

$$\sum MA = 0$$

$$RB \times L = F \times \frac{1}{2} L$$

$$RB \times 0,55 \text{ [m]} = 0,75 \times 10^5 \text{ [N]} \times \frac{1}{2} \times 0,55 \text{ [m]} \quad RB = 0,375 \times 10^5 \text{ [N]}$$

Karena beban atau gaya berada di pusat konstruksi maka besarnya $RA = RB = RC = RD$ atau sebesar $0,375 \times 10^5 \text{ [N]}$. Setelah didapatkan kesetimbangan gayanya maka dapat dilakukan perhitungan *buckling*.

Perhitungan Buckling Rangka Mesin

buckling pada rangka mesin penekan lensa harus mampu menumpu beban sebesar 151,25 KN yang terbagi pada 4 tiang A, B, C, dan D terjadi reaksi gaya yang sama yaitu sebesar $0,375 \times 10^5 \text{ [N]}$. Maka agar konstruksi aman pada saat menumpu beban, maka dapat dihitung dengan membandingkan nilai beban dengan nilai ketika terjadi *buckling* sebagai berikut :

a. Mencari Momen Inersia

$$I_x = I_y$$

$$I_x = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{64}$$

$$I_x = \frac{\pi(28^4 - 25^4)}{64}$$

$$I_x = 10.991,52 \text{ mm}^4$$

I_x merupakan momen inersia dari penampang rangka , maka I_x digunakan untuk mencari radius girasi dengan persamaan berikut ini :

$$R = \sqrt{\frac{I_x}{Ak}}$$

$$R = \sqrt{\frac{10.991,52 \text{ mm}^4}{\frac{\pi(28^4 - 25^4)}{4}}}$$

$$R = 62,50 \text{ mm} = 0,0625 \text{ m}$$

Panjang dari rangka mesin adalah 1300 mm, sedangkan panjang *effective* menurut tabel (2) dengan tipe ujung *one both end fixed*. Berikut merupakan perhitungan *slenderness ratio* :

$$\text{Slenderness Ratio} = \frac{L}{R}$$

$$\text{Slenderness Ratio} = \frac{1,3m}{0,0625m}$$

$$\text{Slenderness Ratio} = 20,8$$

Besarnya *slendernees ratio* adalah 20,8, nilai tersebut kurang dari 140 sehingga digunakan persamaan Johnson untuk menghitung analisis *buckling* sebagai berikut :

$$F_{cr} = A_k \cdot \sigma_y \left[1 - \frac{\sigma_y}{4 \cdot C \cdot \pi^2 \cdot E} \left(\frac{L}{k} \right)^2 \right]$$

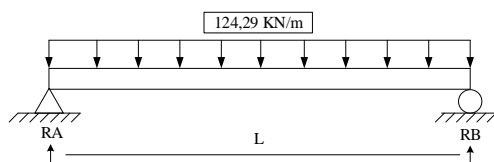
$$F_{cr} = 0,000175 \text{ m}^2 \cdot 351 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \left[1 - \frac{351 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{4 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot 2 \times 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} (20,8)^2 \right]$$

$$F_{cr} = 61179,3 \text{ N}$$

Beban yang harus ditumpu rangka mesin pada tiap titik A,B,C dan D yaitu memiliki nilai yang sama yaitu sebesar $0,375 \times 10^5$ [N], dibandingkan dengan perhitungan *buckling* diatas, bahwasanya rangka mesin akan terjadi *buckling* apabila dikenai gaya atau beban maksimal pada nilai 61×10^3 N. Maka material rangka yang dinyatakan dalam kondisi aman.

Perhitungan Lendutan pada Base Lower JIG

Baselower jig terbuat dari material Aluminum Alloy 6061-T6 Berdasarkan buku yang ditulis oleh Ach. Muhib Zainuri pada tahun 2008 yang berjudul Kekuatan Bahan menyebutkan bahwa material aluminum Alloy 6061-T6 memiliki modulus elastisitas sebesar 70×10^3 MPa dan tegangan lentur sebesar 240 Mpa. Momen inersia base lower jig sebesar = Luas permukaan *base lower JIG* ini adalah $0,087 \text{ m}^2$ dengan tekanan yang diberikan sebesar 0,5 Mpa maka gaya yang terjadi sebesar $0,087 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ Mpa} = 43,5 \text{ KN}$.



Gambar 17. Pembebanan pada Base Lowe JIG

Diketahui :

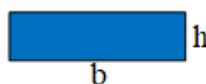
$$W = 124,29 \text{ [KN/m]}$$

$$L = 0,35 \text{ [m]}$$

$$b = 0,35 \text{ [m]}$$

$$h = 0,015 \text{ [m]}$$

Mencari modulus penampang persegi panjang:



Gambar 18. Modulus Penampang Persegi Panjang

$$S = \frac{bh^2}{6}$$

$$S = \frac{0,35 \times 0,015^2}{6}$$

$$S = 1,31 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

Setelah nilai S sudah diketahui langkah selanjutnya adalah mencari momen bending maksimum pada *base lower jig*.

Mencari momen lentur maksimum :

$$M_{\max} = \frac{wL^2}{8}$$

$$M_{\max} = \frac{124,29 \text{ [KN/m]} \times 0,35^2 \text{ [m}^2\text{]}}{8}$$

$$M_{\max} = 1,903 \text{ [KN/m]}$$

Mencari tegangan lentur maksimum :

$$S_b = \frac{M}{S}$$

$$S_b = \frac{1,903 \text{ [KNm]}}{1,31 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}}$$

$$S_b = 145,26 \times 10^6 \left[\frac{N}{m^2} \right] \text{ atau } 145 \text{ Mpa.}$$

Karena tegangan lentur bahan sebesar 240 [Mpa] sedangkan tegangan bending maksimum yang terjadi sebesar 145 Mpa, maka *base lower jig* aman untuk digunakan. Lendutan maksimum yang terjadi pada *base lower jig* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Mencari momen inersia pada penampang persegi panjang :

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$I = \frac{0,35 \text{ [m]} \times 0,015^3 \text{ [m}^3\text{]}}{12}$$

$$I = 9,84 \times 10^{-8} \text{ [mm}^4\text{]}$$

Setelah momen inersia diketahui langkah selanjutnya adalah menghitung lendutan maksimum yang terjadi dengan persamaan berikut :

$$\Delta_{\max} = \frac{5wL^4}{384.EI}$$

$$\Delta_{\max} = \frac{5 \times 43,5 \left[\frac{KN}{mm} \right] \times [350 \text{ [mm]}]^4}{384 \times 70 \times 10^3 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \times 1,82 \times 10^9 \text{ [mm}^4\text{]}} \quad \Delta_{\max} = 0,06 \text{ [mm]}$$

Setelah lendutan maksimum yang terjadi diketahui, maka selanjutnya adalah menghitung lendutan yang diizinkan dengan persamaan berikut ini :

$$\Delta_{\text{all}} = \frac{350}{360} \text{ [mm]}$$

$$\Delta_{\text{all}} = 0,97 \text{ [mm]}$$

Lendutan yang diizinkan pada *base lower jig* sebesar 0,97mm. Diketahui lendutan maksimum yang terjadi pada *base lower jig* sebesar 0,06 mm yang artinya nilainya lebih kecil dari lendutan yang diizinkan yaitu 0,97 mm, maka konstruksi *base lower jig* dinyatakan dalam kondisi aman.

Perhitungan Kekuatan Vacuum Ejector

Pemilihan *vacuum ejector* yang digunakan pada mesin penekan lensa *semi automatic* untuk mencekam lensa saat proses penekanan lensa. Perhitungan kekuatan *vacuum* pada *upper jig* bertujuan untuk memastikan bahwa *vacuum ejector* yang digunakan mampu mencekam lensa dengan kuat. Kekuatan *vacuum* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

Diketahui : F lensa = 1,4 N, Diameter Katub = 20 mm (2×10^{-2})m

$$1.4 \text{ N} = \left(\frac{\pi \cdot 2 \times 10^{-2}}{4} \right)^2 P$$

$$P = \left(\frac{1.4 \text{ N} \cdot 4}{\pi \cdot 2 \times 10^{-2}} \right)$$

$$P = 4459 [\text{Pa}] = 4,459 \times 10^3 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

Setelah mendapatkan tekanan *vacuum* yang terjadi sebesar 4459 Pa, maka selanjutnya adalah menentukan jenis *vacuum ejector* yang digunakan pada mesin penekan lensa. Berikut merupakan tabel spesifikasi *vacuum ejector* yang digunakan untuk kemudian dicocokkan dengan hasil dari perhitungan, ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

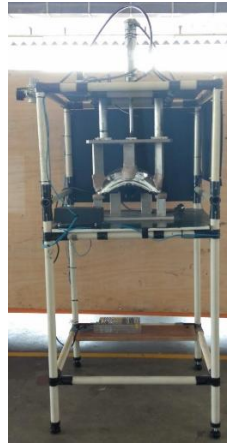
Tabel 14
Spesifikasi *Vacuum Ejector*

Specifications																
Description	Unit	CV-05		CV-10		CV-15		CV-20		CV-25		CV-30A				
		HS	LS	HS	LS	HR	HS	LS	HR	HS	LS	HR	LS			
Fluid		Non-lubricated air / non-corrosive gas														
Ambient temperature	°C	0 - 60 without freezing														
Operating pressure range	MPa	0.1 - 0.6														
Nozzle size	mm	0.5		1.0		1.5		2.0		2.5		3.0				
Nominal pressure	MPa	0.5	0.5	0.35	0.5	0.35	0.5	0.35	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5			
Vacuum (air) flow	l/min(ANR)	6	9	27	36	25	63	95	54	110	165	88	160	250	225	350
Max. vacuum pressure	kPa	-87	-57	-92	-57	-91	-92	-57	-91	-92	-57	-91	-92	-57	-92	-57
Air consumption	l/min(ANR)	13	44	44	100	100	180	180	265	265	385	385	385	385	385	385
Mass	without switch	g	80	80	140	140	350	350	730	730	870	870	870	870	870	870
	with switch	g	120	120	190	190	460	460	-	-	-	-	-	-	-	-

Dari perencanaan diatas diperoleh tekanan *vacuum* sebesar $4,459 \times 10^3 \text{ N/m}^2$. Menurut tabel diatas *vacuum ejector* CV – 05 mampu dioperasikan dengan tekanan nominal 0,5 Mpa yang menghasilkan kekuatan *vacuum* sebesar 87 Kpa sehingga aman digunakan untuk mencekam lensa *head lamp* 045.

A. Hasil dan Spesifikasi Mesin Penekan Lensa

Dimension (LxWxH)	: 550 mm x 580 mm x 1285 mm
<i>Pneumatic</i>	
Solenoid valve 2/2 way	: Airtac 1/8". DC 12V (Max Pressure 1.0 Mpa)
Solenoid valve 5/2 way	: Airtac 1/8" Single Coil DC 12V (Max Pressure 1.2 Mpa)
Cylinder Pneumatic	: SMC 32 x 160 (Max Pressure 1.0 Mpa)
Regulator / Pressure valve	: SMC ARP 20 (Set Pressure 0.008 to 0.6 Mpa)
Vacuum Ejector	: Pamy CV 05 - HS 1/4" (Max Vacuum 87Kpa)
Suction Cup	: UT-SN-F20-TPU50-1/8AG/MSIG-FIL
<i>Mechanic</i>	
Upper JIG	: Aluminum Alloy 6061 (Thickness 15 mm)
Lower JIG	: Aluminum Alloy 6061 (Thickness 15 mm)
Slider	: Aluminum Alloy 6061
Base Slider	: Aluminum Alloy 6061
Base Pneumatic	: Aluminum Alloy 6061 (Thickness 20 mm)
Base Table	: Aluminum Alloy 6061 (Thickness 20 mm)
Base Piston	: Aluminum Alloy 6061
Joint H1, H2, H3	: Iron
<i>Electrical</i>	
Power Supply	: DC12V 10A
Sensor Reed Switch	: Reed Switc SMC D-A93



Gambar 19. Mesin Penekan Lensa *Semi Automatic*

Tabel 16 perbandingan sebelum dan setelah *improvement* proses penekanan lensa.

	<i>Shift</i> (Jam Kerja)	Kapasitas Produksi	Rata rata waktu proses produksi	Kinerja
Sebelum <i>Improvement</i>	<i>Shift</i> 1 (8Jam)	263		<i>baseline</i>
	<i>Shift</i> 2 (7Jam)	230	109.33	
	Total (15Jam)	493		
Setelah <i>Improvement</i>	<i>Shift</i> 1 (8Jam)	286		<i>Cycle time -</i> <i>7.98 % from</i> <i>actual</i>
	<i>Shift</i> 2 (7Jam)	250	100.6	
	Total (15Jam)	536		Produktivitas - 8,72 % <i>from actual</i>

KESIMPULAN

Kesimpulan dari rancang bangun mesin penekan lensa semi automatic dengan penggerak pneumatik berbasis kontrol arduino adalah sebagai berikut :

- Hasil rancang bangun mesin penekan lensa *semi automatic* dengan penggerak pneumatik kontrol arduino yang terbukti mampu meningkatkan kapasitas produksi sebesar 8,72 % (semula 493 pcs/hari menjadi 536 pcs/hari) dan penurunan *cycle time* sebesar 7.98 % atau 8,73 detik (semula 109,33 detik menjadi 100,6 detik).
- Pengujian mesin penekan lensa *semi automatic* dilakukan menggunakan 3 variasi tekanan yaitu 0.3, 0.4 dan 0.5 Mpa. Berdasarkan hasil pengujian dan pengolahan data menggunakan metode *one way anova* diperoleh bahwa hasil pengujian yang paling optimal yaitu pada pengujian tekanan 0.5 Mpa dengan rata rata waktu proses penekanan lensa tercepat yaitu sebesar 3.63 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- Baroto, Teguh. 2002. "Perencanaan dan Pengendalian Produksi". Jakarta; Ghalia Indonesia.
- Barret, Steven F. 2011. "Arduino Microcontroller Processing for Everyone". Morgan & Claypool Plublisher
- Croser, Peter And Frank Ebel. 2002. "*Pneumatics Basic Level*". Festo Didactic GmbH & Co.: Denkendorf
- Cross, Nigel. 2000. Engineering Design Methods Fourth Edition.UK : The Open University

- Darto. 2015. “Perencanaan dan Simulasi Sistem Pneumatik pada Mesin Pres Bricket Blotong Bebatuan Perangkat Lunak”. Teknologi & Manajemen Informatika Volume 1 No. 1, Universitas Merdeka Malang
- Dassault Systemes 3D Experience Company. 2015. Solidworks Simulation Suite Drive Innovation With 3D Enginners Solution. Dassault Systemes Solidworks Corporation
- Dindorf, Ryszard. dkk. 2017. Development of Pneumatic Control System. Politechnika Świętokrzyska : Kielche
- Djebli, Benyagoup. dkk. 2019. “Additional and total deflection of composite symmetric cellular beams”. Journal of Constructional Steel Research Vol. 158 Département de génie Civil, Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf d'Oran, Algeria.
- Gupta, A.K. dkk. 2013. “Experimental Investigation and Fabrication Of Pneumatic Punch”. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology Vol. 2, Issue 6, Department of Mechanical Engineering, Sikkim Manipal Institute of Technology India
- Ilyandi, Rifki. dkk. 2015. “Analisis Design for Assembly pada Prototype Mesin Pemisah Sampah Material Ferromagnetik dan Non Ferromagnetik”. Jom FTEKNIK Volume 2 No. 1 Laboratorium Teknologi Produksi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau : Riau
- Junaidi, 2018. “Project Sistem Kendali Elektronik Berbasis Arduino”. CV. Anugrah Utama Raharja : Bandar Lampung
- Khurmi, R.S & Gupta, J.K., 2005. *Text Book of Machine Design*. Eurasia Publishing House, Itd Ram Nagar, New Delhi
- Misumi, “Vacuum Ejector”.<http://id-misumi.com>. Diakses pada Juli 2020
- Mthieu, Gil Oulbe. dkk. 2016. “Buckling Analysys of Functionally Graded Epitrochoidal Sheels Structures”. Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings, 2016 No 6
- Prasetyo, Hendro. dkk. 2016. “Rancangan JIG dan FIXTURE Pembuatan Produk Cover On Off”. Jurnal Teknoin Vol 2 No. 5 Jurusan Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Bandung
- Said, H. 2012. “Aplikasi PLC dan Sistem Pneumatik pada Industri”. Yogyakarta: Andi Offset.
- Setiawan, Bambang & Rasma. 2019. “Rancang Bangun Mesin Press Bricket dari Bahan Serbuk Kayu Sistem Pneumatik Menggunakan 5 Tabung Percetak”. Jurnal Progam Studi Teknik Mesin UM Metro Vol. 8 No. 2, Universitas Muhammadiyah Jakarta
- Syahril, Ahmad & M. Fajri Hidayat. 2018. “Perancangan Ulang Peralatan Pneumatik Berbasis Programmable Logic Control (PLC) untuk Kegiatan Praktikum”. Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur ISSN : 2339-2029, Universitas Negeri Jakarta
- Vorley, Geoff. 2008. Mini Guide To Root Cause Analysis, Quality Management & Training, United Kingdom.
- Zainuri, Ach Muhib. 2008. “Kekuatan Bahan (Strength of Materials)”. Yogyakarta. Andi.